

Well drilling operation control procedure

Patent Number: ☐ US4886129
Publication date: 1989-12-12
Inventor(s): BOURDON JEAN C (FR)
Applicant(s): SCHLUMBERGER TECHNOLOGY CORP (US)
Requested Patent: ☐ FR2611804
Application Number: US19880160955 19880226
Priority Number(s): FR19870002628 19870227
IPC Classification: E21B47/00
EC Classification: E21B12/02, E21B44/00, E21B49/00D
Equivalents: ☐ GB2201790

Abstract

The invention relates to the control of rotary type oil drilling operations. During a drilling test in which the drill string is held against vertical motion at the surface, known as the "drill-off test", an exponential decrease as a function of time, in the weight applied to the drill bit (WOB) is noted as is a threshold where the value of WOB remains constant. From this test the drillability of the formation drilled, the bit wear and the actual value of the weight applied to the bit may be determined.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

⑬ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

⑪ N° de publication : **2 611 804**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

⑫ N° d'enregistrement national : **87 02628**

⑤① Int Cl⁴ : E 21 B 44/00, 45/00.

⑫ **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

⑫② Date de dépôt : 27 février 1987.

⑫③ Priorité :

⑫④ Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 36 du 9 septembre 1988.

⑫⑥ Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦① Demandeur(s) : *FOREX NEPTUNE S.A. — FR.*

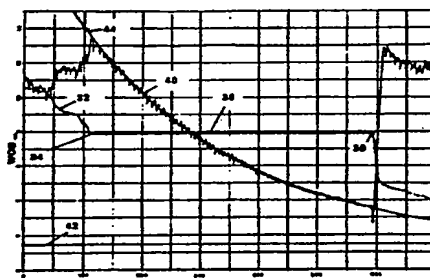
⑦② Inventeur(s) : J.C. Bourdon.

⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) : Henri Dupont.

⑤④ Procédé de contrôle des opérations de forage d'un puits.

⑤⑦ L'invention concerne le contrôle des opérations de forage, du type « rotary », d'un puits pétrolier. On utilise pour cela, une méthode de test de forage sans déplacement du train de tiges de forage en surface, connue sous le nom « Drill-off test ». On constate dans la plupart des cas une décroissance exponentielle du poids appliqué sur le trépan WOB en fonction du temps, ainsi que l'existence d'un seuil pour lequel la valeur de WOB reste constante. On en détermine la forabilité de la formation forée, l'usure du trépan et la valeur effective du poids appliqué sur le trépan.



FR 2 611 804 - A1

D

Procédé de contrôle des opérations de forage d'un puits

L'invention se rapporte à un procédé de contrôle des opérations de forage, du type "rotary", d'un puits pétrolier par la détermination de paramètres caractéristiques. Ce procédé fait appel
05 en partie à une méthode de test de forage d'une formation sans déplacement du train de tiges en surface, connue sous le nom "Drill-off test".

Le forage "rotary" présente souvent un certain nombre de problèmes difficiles à résoudre par l'équipe de forage qui
10 doit travailler avec les seules informations et mesures obtenues en surface. Ces problèmes sont de deux natures. D'une part, les conditions de stabilité et les caractéristiques géométriques de la partie fraîchement forée et donc non tubée du puits (partie ouverte) ne sont généralement pas connues. D'autre part, on dispose
15 habituellement de peu de moyens en surface pour pouvoir quantifier l'usure du trépan et pour suivre l'évolution de la forabilité de la formation au cours d'une même phase.

Lorsque le trou de forage n'est pas uniforme en diamètre ou lorsqu'il est dévié, le train de tiges de forage frotte contre
20 les parois du trou et il peut en résulter une mauvaise transmission du poids sur le trépan, due à des pertes par friction. Par la suite, le mot "trépan" désigne aussi bien les outils de forage à molettes que les outils monocones, et d'une façon générale l'outil qui pénètre la formation et qui est fixé à l'extrémité inférieure du train de
25 tiges. On constate d'ailleurs qu'en pratique, ces pertes sont rarement nulles et sont souvent non négligeables. Il en résulte que la valeur du poids appliquée sur le trépan, mesurée en surface, est souvent très approximative. Cette information prise en surface est d'autant plus erronée que les conditions de stabilité de la partie
30 ouverte du puits sont mauvaises.

Le trépan de forage, s'usant au cours des opérations, doit être remplacé en temps opportun afin de ne pas perdre en efficacité lorsqu'il est usé et en tout état de cause avant défaillance complète. Ce dernier point est très important, les
35 conséquences économiques des repéchages de mollettes d'un outil

tricone perdues dans un puits par suite d'une rupture étant toujours très lourdes.

On connaît déjà la méthode dite de "Drill-off test", proposée par A. Lubinski dans la revue "The Petroleum Engineer" de 05 Janvier 1958 dans un article intitulé "Proposal for future tests". Cette méthode est un moyen commode de déterminer les variations de la vitesse de pénétration du trépan dans la formation (ROP) en fonction des variations de poids appliquées sur le trépan (WOB), mesurées en surface. Il était communément admis que, si on 10 augmentait WOB, ROP croissait jusqu'à une certaine valeur au delà de laquelle le ROP restait pratiquement constant. La méthode de "Drill-off test" n'a jusqu'à présent servi qu'à déterminer théoriquement les meilleurs paramètres à appliquer sur l'outil de forage pour en obtenir la meilleure efficacité et donc, la valeur 15 WOB optimale. Cette information était la seule jusqu'à présent, obtenue à partir de ce type de tests.

Aucune solution réelle n'existe actuellement sans l'usage de systèmes sophistiqués et coûteux du type mesures en cours de forage, appelé "MWD", pour obtenir le poids réel appliqué sur 20 l'outil de forage.

D'autre part aucune méthode précise ne permet de quantifier directement et rapidement soit l'usure de l'outil, soit la forabilité de la formation à partir de mesures simples effectuées en surface et réalisées pendant le forage.

25 La présente invention propose un procédé, faisant appel en partie à la méthode de "Drill-off test", pour déterminer en cours de forage et à partir de mesures effectuées en surface, au moins l'un des paramètres suivants : un paramètre caractéristique de la forabilité de la formation en train d'être forée et de l'usure du 30 trépan, la valeur du poids effectif appliquée sur le trépan et les pertes de poids appliquées sur le trépan dues aux frictions du train de tiges sur les parois du trou foré.

De façon plus précise, l'invention concerne un procédé de contrôle des opérations de forage du type "rotary" d'un puits, 35 à l'aide d'un train de tiges muni à son extrémité

inférieure d'un trépan et suspendu par son extrémité supérieure, en surface, à un crochet de la tour de forage selon lequel on effectue pendant les opérations de forage du puits au moins un test selon la procédure suivante :

- 05 - un certain poids initial est appliqué sur le trépan et le crochet est maintenu pendant la durée du test à la même altitude h ,
- le forage est effectué en maintenant constante la vitesse de rotation ROT du train de tiges pendant la durée du
- 10 test,
- les variations du poids appliqué sur le trépan (WOB_m) sont mesurées en surface à l'aide de la mesure du poids suspendu au crochet et enregistrées en fonction du temps t que dure le test.
- 15 A partir des valeurs mesurées et enregistrées de WOB_m en fonction du temps t , on détermine au moins l'un des paramètres suivants : un paramètre a représentatif de la forabilité de la formation et de l'usure du trépan, la valeur du poids effectif appliqué sur le trépan (WOB_e) et la valeur de la perte de poids appliquée sur le
- 20 trépan (Seuil), entre la surface et le trépan, due aux frictions du train de tiges contre les parois du trou foré.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront plus clairement de la description qui va suivre, en regard des dessins annexés, d'un exemple de mise en oeuvre non

25 limitatif du procédé.

La figure 1 représente schématiquement, en coupe verticale, un appareil de forage "rotary" et le puits qu'elle surmonte.

La figure 2 montre un enregistrement des valeurs mesurées

30 de WOB_m en fonction du temps, en appliquant partiellement la méthode de "Drill-off test", et la comparaison avec une courbe théorique de décroissance exponentielle.

La figure 3 représente les variations de la vitesse de pénétration du train de tiges (ROP) en fonction de WOB, pendant un

35 test de "Drill-off test".

La tour de forage "rotary" représentée à la figure 1 comprend un mât 1 se dressant au-dessus du sol 2 et équipé d'un appareil de levage 3 auquel est suspendu un train de tiges de forage 4 formé de tiges aboutées par vissage et portant à son extrémité inférieure un trépan 5, en vue du forage d'un puits 6. L'appareil de levage 3 se compose d'un moufle supérieur 7 dont l'axe est fixé au sommet du mât 1, d'un moufle inférieur 8 mobile verticalement, auquel est attaché un crochet 9, d'un câble 10 passant sur les moufles 7 et 8 et formant, à partir du moufle supérieur 7, d'une part un brin mort 10a ancré en un point fixe 11, d'une part un brin actif 10b qui va s'enrouler sur le tambour d'un treuil 12.

Le train de tiges 4 est suspendu au crochet 9 par l'intermédiaire d'une tête d'injection 13 reliée par un tuyau flexible 14 à une pompe à boue 15, laquelle permet d'injecter dans le puits 6, via les tiges creuses du train 4, de la boue de forage issue d'un bassin à boue 16, ce dernier pouvant, inversement, recevoir de la boue en excès du puits 6. Cela permet, par actionnement de l'appareil de levage 3 au moyen du treuil 12, de faire remonter le train de tiges 4, ses tiges étant successivement retirées du puits 6 et devissées de façon à extraire le trépan 5, ou de faire descendre le train de tiges 4, avec revissage successif des tiges qui le composaient, pour faire retourner le trépan au fond du puits. Ces opérations de montage et de démontage de tiges nécessitent de décrocher momentanément de l'appareil de levage 3 le train de tiges 4; ce dernier est alors soutenu par coincement à l'aide de câles 17 dans un évidement conique 18 qu'offre la table de rotation 19 montée sur une plate-forme 20 et que traverse le train de tiges.

Durant les périodes de forage, le train de tiges 4 est entraîné en rotation par l'intermédiaire d'une tige carrée 21 montée à son extrémité supérieure. Entre ces périodes, cette tige carrée est remise dans un fourreau 22 creusé dans le sol.

Les variations de la hauteur h du moufle mobile 8 au cours de ces opérations de remontée du train de tiges 4 sont mesurées au moyen d'un capteur 23. Il s'agit dans le présent exemple d'un

capteur d'angle de rotation couplé à la poulie la plus rapide du moufle fixe 7 (c'est la poulie d'où part le brin actif 10b). Ce capteur donne à chaque instant la grandeur et le sens de la rotation de cette poulie, d'où il est aisé de déduire la valeur et le sens du déplacement linéaire du câble 10, puis, compte tenu du nombre de brins de câble reliant les moufles 7 et 8, la valeur et le sens du déplacement du moufle 8 et, par suite, la hauteur h de celui-ci.

Outre sa hauteur h, la charge appliquée au crochet 9 du moufle mobile 8 est mesurée; elle correspond sensiblement au poids du train de tiges 4 dans la boue de forage présente dans le puits. Cette charge varie avec le nombre de tiges que celui-ci comporte. Cette mesure est effectuée au moyen d'un capteur de force 24 inséré dans le brin mort 10a du câble 10 et mesurant la tension de celui-ci. En multipliant la valeur que fournit ce capteur par le nombre de brins reliant les moufles 7 et 8, on obtient la charge au crochet 9 du moufle 8.

Les capteurs 23 et 24 sont reliés, par des lignes 25 et 26, à une unité de calcul 27 qui traite les signaux de mesure et qui comprends une horloge incorporée. Un enregistreur 28 est connecté à l'unité de calcul 27 laquelle est préférentiellement un ordinateur.

Les paramètres mesurés et nécessaires à la mise en oeuvre de l'invention sont le poids pendu au crochet 9, l'altitude du moufle mobile supportant ce crochet et le temps passé à forer la formation et fourni par l'horloge incorporée au calculateur 27. Les paramètres sont régulièrement enregistrés à la fréquence de 5 Hz et immédiatement numérisés, donc convertis en valeurs binaires directement utilisables par le calculateur. Les enregistrements de ces valeurs sont indexés en temps.

La méthode de "Drill-off test" est alors mise en oeuvre, directement pendant l'opération de forage. Pour cela, le foreur bloque le frein du treuil 12 qui contrôle la descente du crochet 9 par l'intermédiaire du moufflage 10. Ceci a pour conséquence d'arrêter le forage apparent en surface, alors que l'outil continue sa progression en fonds de puits par extension élastique du train de tiges. Un transfert de poids s'effectue alors entre le fond du puits

et la surface, la perte de poids au trépan étant apparemment vue comme un accroissement du poids au crochet lu en surface. On enregistre alors en fonction du temps les variations du poids sur le trépan WOB_m . Le test se termine lorsque la variation du poids au
05 crochet cesse d'être significative ou lorsque l'amplitude de cette variation est jugée satisfaisante pour pouvoir être interprétée.

L'interprétation porte sur la caractéristique de la décroissance du poids sur le trépan lu en surface lors de ce test.

Un modèle analytique, donné ci-après, montre que cette décroissance
10 est exponentielle dans la majorité des cas. Le gradient de cette décroissance est une caractéristique commune à la formation forée et à l'outil de forage utilisé.

De plus, on constate dans la plupart des cas que le poids sur le trépan, tel que déterminé à partir de la charge au crochet,
15 tend vers une valeur de seuil, en fonction du temps, différente de zéro.

Dans ce cas la caractéristique exponentielle de la décroissance n'est vraie que si l'origine du repère est déplacé de telle sorte que la courbe tende vers la valeur du seuil.

20 Pendant le test, les paramètres qui influencent directement le rendement du forage sont maintenus approximativement constants par le foreur qui conduit le treuil de forage. Les paramètres sont la vitesse de rotation du trépan et l'hydraulique du système, principalement la composition et le débit de la boue de
25 forage.

Le paramètre variable le plus important du test est le poids sur le trépan mesuré en surface. Ce paramètre est déduit du poids au crochet mesuré à l'aide du capteur 24 placé sur le brin mort 10a du mouflage. Ce capteur donne un signal électrique proportionnel à
30 l'effort sur ce brin mort donc proportionnel au poids pendu au crochet. Le signal électrique est ensuite converti en poids au crochet après chaque mesure par le calculateur 27. Le poids sur le trépan mesuré en surface est donné à tout instant dès que l'on est en forage par différence entre le poids total de la garniture de
35 forage entraînée en rotation dans la boue du puits, le trépan ne

touchant pas le fond, et ce même poids lorsque l'outil est appliqué sur le fond au cours du forage.

La vitesse de rotation du train de tige est mesurée directement grâce à un capteur situé sur une partie tournante de la table de rotation 19 qui, associé à un fréquence-mètre, donne une valeur ensuite convertie en vitesse de rotation par le calculateur 27.

Le forage étant en cours, le moufle mobile 8 descend, contrôlé par le foreur actionnant le frein du treuil 12 alors qu'il s'efforce de maintenir le poids sur le trépan 5 constant. Ce moufle mobile supportant le train de tiges de forage 4 par l'intermédiaire du crochet 9 et de la tête d'injection 13 est alors arrêté dans cette descente. Le frein est alors maintenu serré. Par conséquent l'altitude h de ce moufle mobile 8 (et donc du crochet 9) est vue invariablement constante pendant toute la durée du test. La courbe 32 sur la figure 2 représente l'altitude h du moufle 8 (ou du crochet 9) en fonction du temps. Le début d'un test est repérable par le premier point 34 d'un segment 36 d'altitude de moufle constante et la fin est repérée par le dernier point 38 de ce segment. On peut pratiquer la méthode de l'invention de façon automatique. Dans ce cas, le début et la fin du test, correspondant aux points 34 et 38, sont détectés automatiquement. Sur la figure 2 la courbe 40 représente les valeurs mesurées en surface du poids sur le trépan WOB_m , (mesurées en tonne), en fonction du temps t (mesuré en secondes). Deux validations sont opérées sur ce test pour accepter ou rejeter les données et poursuivre l'interprétation.

La première de celles-ci vérifie que le test dure plus de 45 secondes afin de supprimer tous les tests partiels pendant le forage de sections particulièrement difficiles. C'est le cas par exemple lorsque le foreur procède à un forage en escaliers, le moufle 8 étant successivement relâché puis retenu pendant de longues secondes.

La seconde vérification porte sur l'amplitude de la décroissance de poids sur le trépan WOB durant le test. Le critère de qualité du test nécessite la plus grande amplitude possible de poids sur le trépan. Il est donc convenu qu'un test ne sera accepté

que si cette amplitude de poids mesuré pendant le test est supérieure à une certaine valeur, par exemple 60.000 Newton.

Ayant mesuré et enregistré les données expérimentales du test, il est maintenant nécessaire de les interpréter. On a montré
05 que l'on peut généralement considérer la vitesse de pénétration du trépan ROP comme proportionnelle au poids effectif appliqué sur le trépan WOB_e et à une fonction linéaire de la vitesse de rotation $f(ROT)$. On peut donc écrire :

$$ROP = a.WOB_e . f(ROT)$$

10 a étant une valeur caractéristique de l'efficacité du forage qui dépend de la forabilité de la formation et de l'efficacité du trépan (son usure pour un trépan déterminé).

Pendant un test alors que le crochet est maintenu fixe en surface, le poids sur le trépan est lié à la pénétration du trépan
15 dans la formation par l'élasticité du train de tige.

En appelant E : Module d'Young de l'acier du train de tiges,

S : Section de la partie élastique du train de tiges,

L : Longueur de la partie élastique du train de tiges,
(principalement les tiges seules sans les masses

20 tiges),

t : Temps écoulé depuis le départ du test,

ROT : Vitesse de rotation du train de tige

On peut écrire :

$$\Delta(WOB_e) = E.S. \Delta(L)/L$$

25 donc : $\Delta(WOB_e) / \Delta(t) = - (E.S)/L . a.WOB_e . f(ROT)$

$\Delta(WOB)$, $\Delta(L)$ et $\Delta(t)$ représentant les variations respectivement de WOB , L et t .

L'intégration de cette dernière expression donne donc WOB_e comme une fonction du temps pendant le test :

30
$$WOB_e = WOB_i \exp [- (E.S/L) . a . f(ROT) . t]$$

WOB_i étant le poids sur le trépan calculé pour $t = 0$ et correspondant au point 34 sur la figure 2.

Comme l'on montré les résultats des nombreuses expériences réalisées, au cours de cette invention, le poids sur le trépan ne
35 descend pas jusqu'à zéro mais se stabilise à une valeur positive

finie que l'on appelle "Seuil". Cette valeur "Seuil" est indiquée par la référence 42 sur la figure 2 et correspond à 1,5 tonne dans le cas de ce test. On peut donc écrire que la valeur mesurée en surface de WOB_m est égale à la valeur effective WOB_e plus la valeur Seuil

05
$$WOB_m = WOB_e + \text{Seuil}$$

ou encore
$$WOB_m = \text{Seuil} + WOB_i \exp [- (E.S/L). a.f (ROT).t] \quad (1)$$

On remarquera que, dans cette expression, la valeur mesurée en surface du poids sur le trépan WOB_m décroît exponentiellement au cours du temps et qu'elle dépend du paramètre a et de la valeur

10 Seuil. Les valeurs de E , S/L et de $f (ROT)$ sont constantes et supposées connues. Si elles n'étaient pas connues alors la valeur absolue de a ne serait pas déterminable et seules les variations de a ou sa valeur relative seraient connues.

Selon la présente invention, on détermine les valeurs de Seuil et du
15 paramètre a (ou sa valeur relative).

La valeur Seuil pourrait bien entendu être déterminée expérimentalement en enregistrant les valeurs WOB_m pendant suffisamment longtemps pour qu'elles ne décroissent plus et qu'elles atteignent une valeur sensiblement constante, qui est la valeur

20 Seuil. En pratique, il n'est pas nécessaire de poursuivre le test aussi longtemps, car dès que la décroissance exponentielle est connue avec suffisamment de précision, on détermine mathématiquement les valeurs de a , Seuil et WOB_i en comparant la courbe expérimentale 40 avec la courbe théorique 44 obtenues par l'équation (1) pour

25 différentes valeurs de a , Seuil et WOB_i , jusqu'à ce que la courbe théorique 44 ait la même forme que la courbe expérimentale 40.

En pratique, on convertit les valeurs mesurées WOB_m en logarithmes. Les valeurs $\log WOB_m$ doivent théoriquement, d'après l'équation (1), s'aligner sur une droite dont on détermine

30 l'équation par la méthode des moindres carrés. D'autres méthodes, dites analytiques, peuvent être utilisées.

Il convient maintenant de définir ce que représente, de façon qualitative, le poids effectif sur le trépan WOB_e , ainsi que la valeur Seuil. Le poids effectif WOB_e représente la force réelle
35 avec laquelle le trépan appuie sur le fond du puits et qui

représente réellement une force efficace pour la vitesse d'avancement. Cette valeur est déduite de la valeur du poids sur le trépan mesurée en surface WOB_m et de la valeur Seuil déterminée par le test et est donnée par l'expression : $WOB_e = WOB_m - \text{Seuil}$.

05 L'interprétation simple attachée à cette équation est que tout poids sur le trépan mesuré en surface qui ne crée pas directement un avancement est perdu en frottement le long du train de tiges de forage. Ce poids perdu correspond à la valeur Seuil. Le calcul du poids efficace ou effectif est donc immédiat. Par la
10 connaissance de la valeur Seuil, le foreur peut à tout instant connaître la valeur absolue de l'effort longitudinal nécessaire pour vaincre les frottements dans la partie ouverte du puits. Cette information est d'une très grande valeur pour caractériser la qualité des parois et de la forme générale de la partie ouverte du
15 puits. Cette information est généralement estimée avec un certain nombre de notions subjectives. Elle permet, grâce à la présente invention, lorsqu'obtenue juste avant une remontée du train de tiges par exemple, d'estimer les problèmes potentiels que l'on pourra rencontrer au cours de la remontée du train de tiges.

20 Le paramètre α caractérise l'efficacité du forage. Sa valeur augmente avec la forabilité de la formation (aptitude de la formation à être forée) et diminue avec l'usure du trépan. Ce paramètre est important pour le foreur qui peut désormais suivre son évolution au cours du forage.

25 Deux cas sont à considérer :

- D'une part, il s'agit du forage d'un puits en développement dont la structure lithologique est connue. Il est alors possible de parfaitement suivre l'évolution de l'efficacité du trépan tout au long de l'approfondissement du puits. Ce coefficient
30 α peut être décorrélé pour la forabilité de la formation, celle-ci étant connue et quantifiée sous forme d'indice de dureté (au sens large du terme). Cet indicateur est une information supplémentaire qui sera utilisée par le foreur pour prendre la décision de remonter l'outil utilisé par exemple. Ce suivi est d'autant plus efficace, que
35 le trépan de forage s'use significativement ce qui est vrai, par

exemple, pour l'ensemble des outils à dents fraisées.

- D'autre part, il s'agit du forage d'un puits dont les caractéristiques lithologiques sont mal connues. Un test réalisé conformément à l'invention et dès la reprise du forage avec un outil
05 neuf est effectué pour déterminer les valeurs des paramètres a et Seuil. Il est alors aisé de suivre l'évolution du coefficient a de façon à caractériser de manière relative l'évolution de la forabilité de la formation. Ceci est d'autant plus rigoureux que l'outil présente un faible gradient d'usure des dents, ce qui est le
10 cas, par exemple, pour l'ensemble des outils à picots en carbure de tungstène.

Pour suivre l'évolution du paramètre a , il est utile d'utiliser le graphe de la figure 3. Sur ce graphe, les courbes 50 et 52 sont obtenues respectivement, expérimentalement et
15 théoriquement, et représentent les variations de la vitesse de pénétration du trépan ROP, en mètre par heure, en fonction du poids sur le trépan mesuré en surface WOB_m , exprimé en tonne.

La courbe 50 est obtenue par la combinaison de deux séries d'informations : d'une part, l'évolution de WOB_m en fonction du
20 temps (figure 2) et d'autre part, la vitesse de pénétration du trépan ROP en fonction du temps (calculé à partir de l'allongement du train de tiges, en connaissant le module d'Young E de l'acier, la longueur de train de tiges et la force longitudinale s'exerçant sur cette longueur). L'évolution des deux paramètres WOB_m et ROP étant
25 connue pour chaque paramètre en fonction de la même variable, le temps, on en déduit immédiatement la courbe expérimentale ROP en fonction de WOB_m .

Quant à la courbe théorique 52, on peut montrer que ROP est donné en fonction de WOB_m par l'équation suivante :

$$\text{ROP} = k (WOB_m - \text{Seuil}) \cdot L / ES$$

avec $k = ES / L \cdot a \cdot f(ROT)$

On remarque que cette courbe 52 est une droite de pente égale au produit $a \cdot f(ROT)$ et que $WOB_m = \text{Seuil}$ si $ROP = 0$. Cette valeur de WOB_m est indiquée par la référence 54 sur la figure 3. On a supposé
35 que pendant le déroulement d'un test conforme à l'invention, la

- vitesse de rotation du train de tiges est maintenue constante. Les variations de la pente de la droite 52 ne dépendent donc que de l'évolution du paramètre a . Le foreur peut donc, soit sur un même graphe, soit par répétition du test selon l'invention, en obtenant
- 05 plusieurs graphes successifs, suivre l'évolution de la forabilité de la ou des formations rencontrées (en supposant que le trépan ne s'use pas) ou une défaillance mécanique du trépan (au cours d'un même test) ou l'usure du trépan suivie au cours de plusieurs tests pour une formation, dont la forabilité est supposée constante. La
- 10 valeur de a , et donc la pente de la droite, diminue avec la dureté (au sens large du terme) de la formation et avec l'usure du trépan. De plus, si la courbe 50 n'est pas en moyenne une droite, pour un même test, cela signifie que pendant la durée de ce test, soit la lithologie de la formation forée n'est pas homogène, soit que
- 15 l'outil s'est usé rapidement. On peut ainsi détecter une défaillance mécanique du trépan, telle que par exemple la perte d'un cône d'un trépan tri-cones.

Il est aussi possible, par la figure 3, de prévoir la vitesse de pénétration du trépan après le test, en fonction du poids

20 WOB_m appliqué sur le trépan et mesuré en surface.

Revendications

1. Procédé de contrôle des opérations de forage du type "rotary" d'un puits (6), à l'aide d'un train de tiges (4) muni à son extrémité inférieure d'un trépan (5) et suspendu par son extrémité
05 supérieure, en surface, à un crochet (9) de la tour de forage (1) selon lequel on effectue pendant les opérations de forage du puits au moins un test selon la procédure suivante :

- un certain poids initial est appliqué sur le trépan (5) et le crochet (9) est maintenu à la même altitude h pendant la durée
10 du test,

- le forage est effectué en maintenant sensiblement constante la vitesse de rotation ROT du train de tiges (4), pendant la durée du test,

- les variations du poids appliquées sur le trépan (WOB_m)
15 sont mesurées en surface à l'aide de la mesure du poids suspendu au crochet (9) et enregistrées en fonction du temps t que dure le test ;

ledit procédé étant caractérisé en ce que, à partir des valeurs mesurées et enregistrées de WOB_m en fonction du temps t , on

20 détermine au moins l'un des paramètres suivants : un paramètre a représentatif de la forabilité de la formation et de l'usure du trépan, la valeur du poids effectif appliqué sur le trépan (WOB_e) et la valeur de la perte de poids appliquée sur le trépan (Seuil), entre la surface et le trépan.

25 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, les valeurs WOB_m décroissant sensiblement exponentiellement en fonction du temps t , on détermine la valeur du coefficient de la fonction exponentielle, laquelle est une fonction linéaire du paramètre a représentatif de la forabilité de la formation et de
30 l'usure du trépan.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que la valeur Seuil est en outre définie, à partir de ladite fonction exponentielle pour une valeur du temps t considérée comme infinie.

35 4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que

la valeur WOB_e est calculée à partir de la relation $WOB_e = WOB_m - \text{Seuil}$.

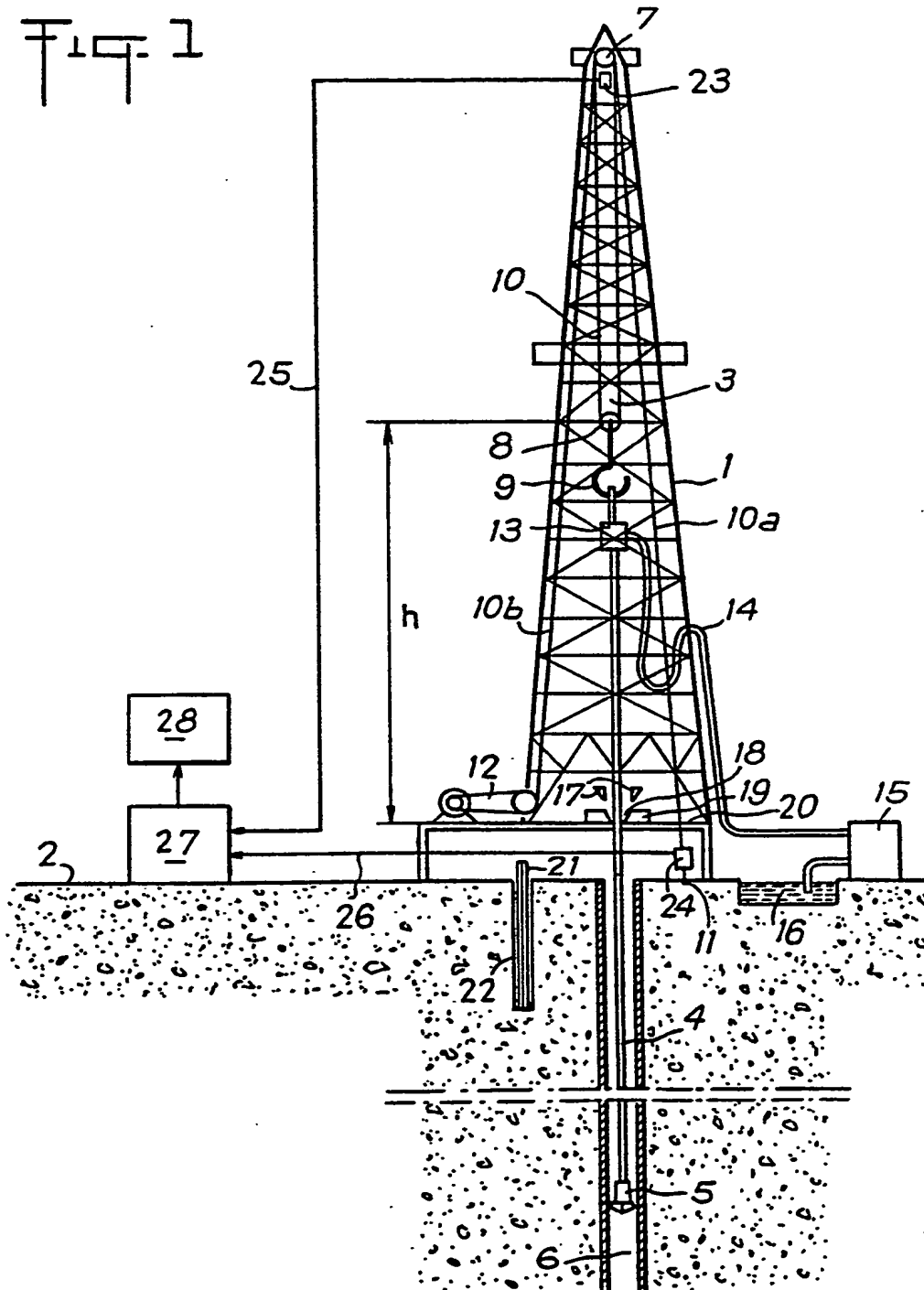
5. Procédé selon l' une des revendications précédentes caractérisé en ce que l'on détermine l'allongement du train de tiges pendant la durée du test et, à partir du poids effectif appliqué au trépan (WOB_e), on en déduit la vitesse de pénétration du trépan (ROP) et, à partir des valeurs WOB_m et ROP obtenues en fonction du temps t , on en déduit les variations de ROP en fonction de WOB_m .

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que plusieurs tests successifs sont réalisés au cours des opérations de forage et en ce que l'on suit l'évolution, d'un test à l'autre, du paramètre a caractéristique de la forabilité et de l'usure de l'outil.

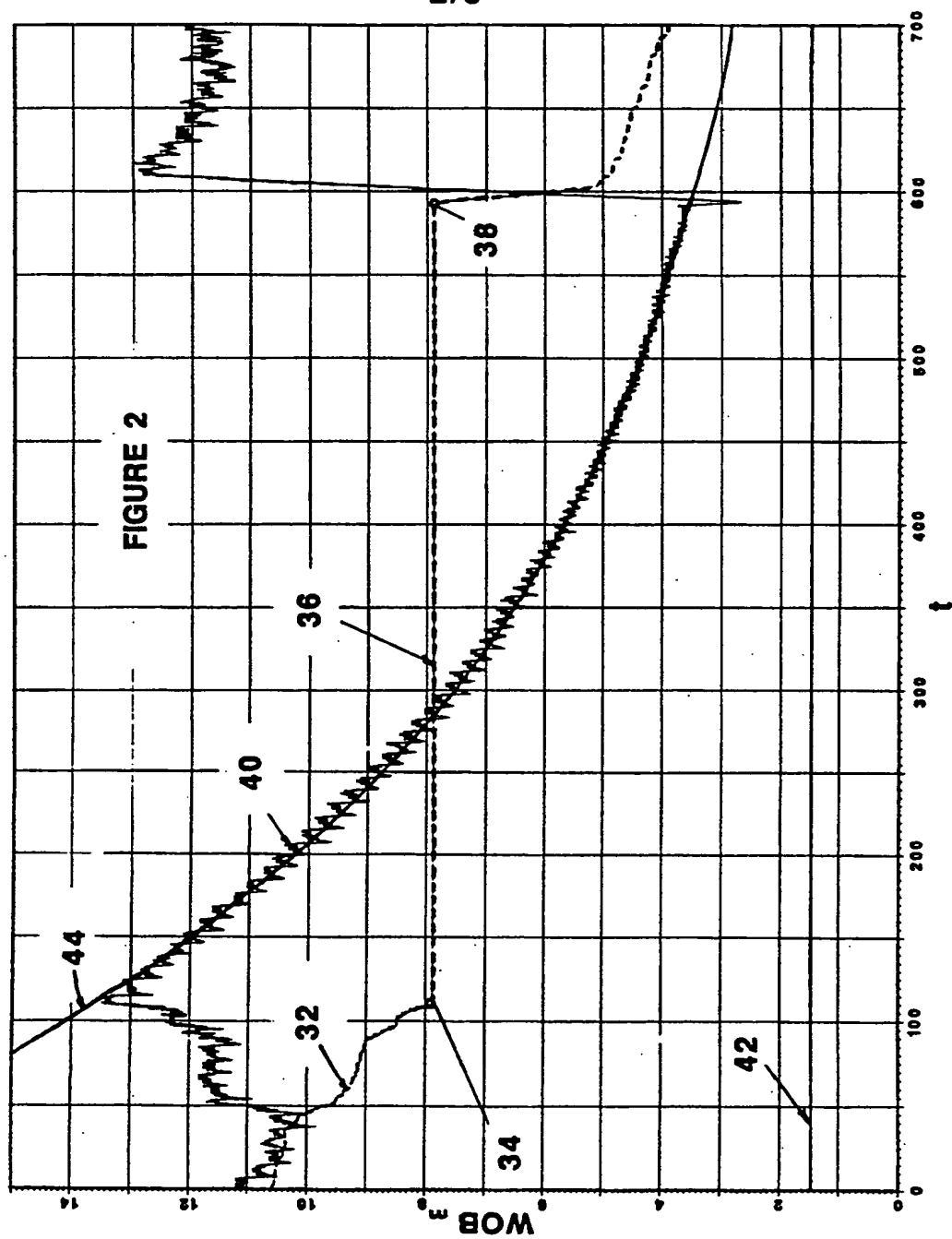
7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que, la lithologie de la formation forée étant supposée invariable, on suit l'évolution de l'usure du trépan en suivant l'évolution de la valeur du paramètre a .

8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que, l'usure de trépan étant considéré comme négligeable, on suit l'évolution de la forabilité de la formation en suivant l'évolution de la valeur du paramètre a .

Fig 1



2/3



3/3

